

胴体の伸縮を活用する多脚口ホ?ットの自律分散制御

著者	菊池 和気
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	96-97
発行年	2018-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00123450

修士学位論文要約（平成30年3月）

胴体の伸縮を活用する多脚ロボットの自律分散制御

菊池 和気

指導教員：石黒 章夫

Decentralized Control Scheme for Multi-legged Robot That Utilizes Peristaltic Motion

Kazuki KIKUCHI

Supervisor: Akio ISHIGURO

Several animals move by combining multiple locomotion modes such as legged, undulatory, and peristaltic motions to adapt to various environments in real time. Our aim of this study is to design a decentralized control scheme for such multimodal locomotion. As a first step, in this paper, we focused on animals' behavior in which legged and peristaltic motions are combined. We designed a control scheme for a multi-legged robot that can coordinate these locomotion modes on the basis of the behavioral experiments of centipedes (*Scolopendra subspinipes mutilans*) and demonstrated via simulations that the proposed scheme enables well-balanced coupling between legged and peristaltic motions. Validation of the proposed control scheme in the real world by using a multi-legged robot remains as a future work.

1. はじめに

生物は、脚運動や胴体の屈曲運動・伸縮運動といったロコモーション様式を活用し移動する。さらに、多くの生物は、これら異なるロコモーション様式を周囲の環境に応じて巧みに組み合わせることができ、高い環境適応能力や広い行動可能領域を獲得している (図1)。たとえば、サンショウウオなどの両生類は、胴体の屈曲運動を活用し遊泳することで水中を動き回り、これに加え、脚運動と胴体の屈曲運動を連関させることにより陸上においても移動できる¹⁾。複数のロコモーション様式を連関させることは、高い環境適応能力を実現する上で重要な要素であると考えられる。

こうした生物が示す巧みな振る舞いの生成に自律分散制御が深く関わっていることが知られている。生物は自律分散的な制御メカニズムにより、限られた計算資源のもとで、環境の変化などに即時的に適応可能な大自由度制御を実現していると考えられる。それゆえ、自律分散制御に基づき、上述した複数ロコモーションの連関制御を構築することで、生物に比肩する環境適応能力や行動可能領域を有するロボットの実現につながると予想できる。

そこで本研究では、周囲の環境に応じて自律分散的に複数のロコモーション様式の連関が可能な制御則の構築を目的とする。本論文では、その初動段階として、脚運動と胴体の伸縮運動における連関に着目

し、両者を組み合わせたロコモーションを観察できるトビズムカデ (*Scolopendra subspinipes mutilans*) の振る舞いから着想を得ることで、脚運動と胴体の伸縮運動を連関可能な多脚ロボットの自律分散制御則の構築を行う。シミュレーションを用いて提案制御則を検証した結果、連関した脚運動と胴体の伸縮運動の発現を確認した。また、実世界環境下における提案制御則の検証実験を行うために胴体の伸縮が可能な多脚ロボットを開発したので報告する。

2. 行動観察実験と提案制御則

脚運動と胴体の伸縮運動を連関可能な自律分散制御則の提案に向けムカデ (*Scolopendra subspinipes mutilans*) の行動観察実験を行った。ムカデが示す連関した脚運動と胴体の伸縮運動を観察した結果、次のことが分かった：ムカデが収縮する場合、頭部に近い脚は止まり、尾部に近い脚は歩行する。また、ムカデが伸長する場合、頭部に近い脚は歩行し続け、尾部に近い脚は止まる。この行動観察実験から、脚運動と伸縮運動は、自らのロコモーション様式に加え、互いのロコモーション様式を考慮し、推進を妨げないように制御されていると推測した。

行動観察実験の結果より着想を得ることで、次に示す制御則の設計指針を構築した (図2)。提案した設計指針において、各ロコモーション様式は、自ら

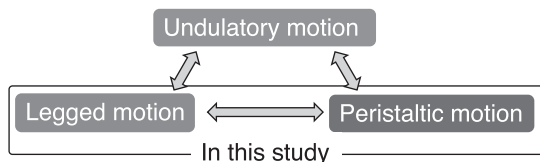


図1 Schematic of animal locomotion.

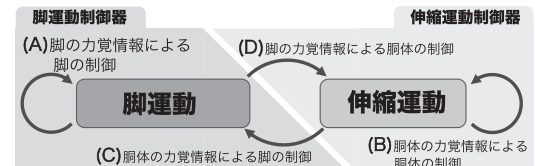


図2 Schematic of proposed control structure.

のロコモーション様式に由来するセンサ情報 (図2中の (A), (B) の結合) に加えて, 互いのロコモーション様式に由来するセンサ情報 (図2中の (C), (D) の結合) を活用し制御される. この設計方針に基づき以下に示す (A), (B), (C), (D) のフィードバック結合 (図2) を設計し, 脚運動と胴体の伸縮運動を連関可能な自律分散制御則を構築した. 提案制御則の詳細については紙面の都合上割愛する.

■脚のセンサ情報に基づく脚運動の制御 (A)

自脚にある程度の荷重がかかった場合は, 歩行をやめ支持し続け, 抜重されたとき, 歩行を再開する.

■胴体のセンサ情報に基づく伸縮運動の制御 (B)

伸縮運動の波を生成するため, 自体節の長さを, 一つ前の体節の実長となるように制御する.

■胴体のセンサ情報に基づく脚運動の制御 (C)

脚が胴体により進行方向前方に引きずられている場合は遊脚, 後方に力を受ける場合は支持脚を保つようにする.

■脚のセンサ情報に基づく伸縮運動の制御 (D)

自体節の前後に接続された脚先の, 取っ掛かり方を比較し, 前方の脚がより取っ掛かっている場合は, 前方脚を基点とし, 体節長を縮めることで後方の胴体を手繰り寄せる. また, 後方の脚がより取っ掛かっている場合は, 同様に体節長を伸ばし, 前方の胴体を押し出す.

シミュレーションを用いて提案制御則を検証した結果, 連関した脚運動と胴体の伸縮運動の発現を確認した. また, すべてのフィードバック結合 (図2中の ABCD) を活用した場合, そのうち一つ以上のフィードバック結合を除去した場合に比べて, 移動速度の向上が確認された (図3).

3. 実機開発

提案制御則の実世界環境下における有効性を検証するために, ロボット実機 (図4) を製作した. 本ロボットは, 脚運動と伸縮運動が可能な体節を連結した構造となっている. しかしながら, 脚を駆動するDCモータのトルクが十分でないことや, 床反力センサの機構的な問題から, 提案制御則を実世界環境下において検証するまでには至らなかった. 今後は, これらの問題を解決することで, 実世界環境下における提案制御則の検証を進める予定である.

4. まとめ

本研究では, 生物が脚運動や胴体の屈曲・伸縮運動といった複数のロコモーション様式を巧みに活用することで高い運動能力を実現していることに着目し, ムカデの行動観察実験から着想を得ることで, 脚運動と胴体の伸縮運動を連関可能な自律分散制御則を構築した. 提案制御則をシミュレーションを用いて

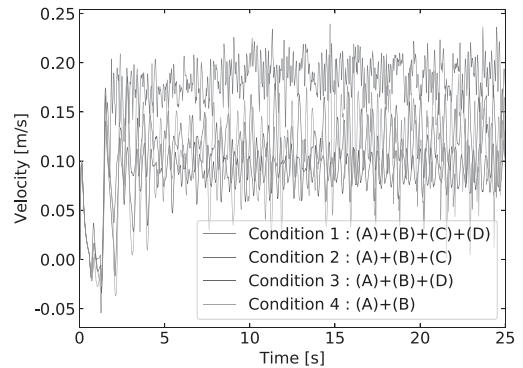


図3 Simulation result.

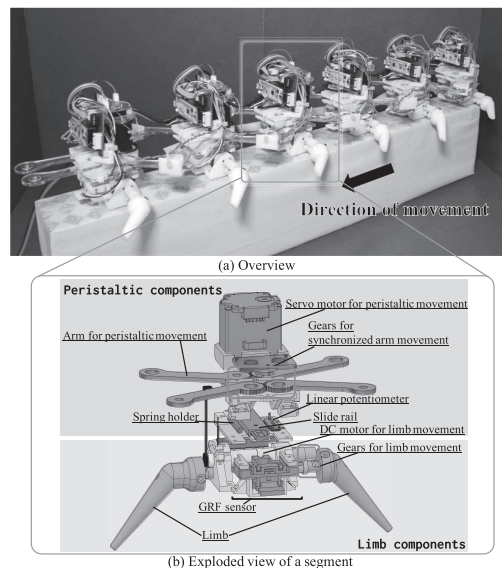


図4 Developed multi-legged robot.

検証した結果, 連関した脚運動と胴体の伸縮運動の発現を確認した. 今後は, ロボット実機による実世界環境における提案制御の有効性の検証を行うとともに, 提案した制御スキームを拡張し, より多種類のロコモーション様式を連関することが可能であるかの検証を行う予定である.

文献

- 1) I. Delvol, T. Bem, J.-M. Cabelguen, "Epaxial and limb muscle activity during swimming and terrestrial stepping in the adult newt, *Pleurodeles waltl*", *Journal of Neurophysiology*, vol.78, no.2, pp.638–650, 1997.